

(11) 特許出願公開番号

特開2014-155255

(P2014-155255A)

(43) 公開日 平成26年8月25日(2014.8.25)

(51) Int.Cl.

F 1

テーマコード (参考)

H02P 21/00 (2006.01)

H02P 5/408

A

5H505

H O 2 P 27/04 (2006.01)

H02P 7/63

302 F

H02P 27/06 (2006.01)

審査請求 有 請求項の数 10 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2013-20648 (P2013-20648)

(22) 出願日 平成25年2月5日 (2013.2.5)

(71) 出願人 000180025

山洋電気株式会社

東京都豊島区南大塚三丁目33番1号

(74) 代理人 110000671

八田国際特許業務法人

(72) 発明者 井出 勇治

東京都豊島区北大塚一丁目15番1号 山
洋電気株式会社内

(72) 発明者 山▲崎▼ 悟史

東京都豊島区北大塚一丁目15番1号 山
洋電気株式会社内

Fターム(参考) 5H505 AA18 BB04 DD05 EE41 EE48

EE49 FF02 FF04 GG01 GG02

GG04 HB01 JJ05 JJ06 LL07

LL22 LL34 LL41

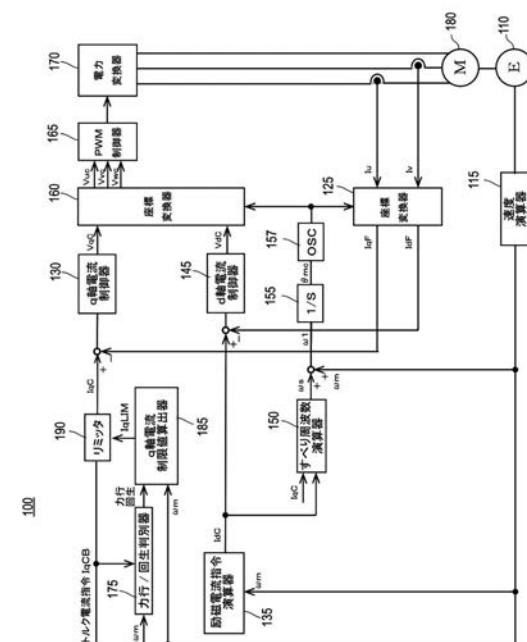
(54) 【発明の名称】 モータ制御装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】磁気飽和のあるモータの力行時における高速負荷回転時のトルク低下を改善して加速時間を短縮し、同時に、モータ回生時の過大なトルクも抑制して、良好な加速特性と安全な減速特性が両立できるモータ制御装置

【解決手段】力行/回生判別器 175 は、トルク電流指令 I_{qC} とモータ回転速度 ω_m とを用いてモータ 180 の力行/回生状態を判別する。リミッタ 190 は、モータ 180 が力行状態であるときにはトルク電流指令 I_{qC} を通過させ回生状態であるときにはトルク電流指令 I_{qC} の大きさを制限値 I_{qLIM} で制限して通過させる。励磁電流指令演算器 135 は、モータ回転速度 ω_m を用いてモータ 180 の回転状態を認識し当該回転状態に応じた励磁電流指令 I_dC を演算する。モータ駆動部は、リミッタ通過後のトルク電流指令 I_{qC} と演算した励磁電流指令 I_dC とを用いてモータ 180 を駆動する。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの力行/回生状態を判別する力行/回生判別器と、

前記モータが力行状態であるときには前記トルク電流指令を通過させ回生状態であるときには前記トルク電流指令の大きさを制限して通過させるリミッタと、

前記モータ回転速度を用いてモータの回転状態を認識し当該回転状態に応じた励磁電流指令を演算する励磁電流指令演算器と、

前記リミッタ通過後のトルク電流指令と演算した励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、

を有することを特徴とするモータ制御装置。

10

【請求項 2】

前記励磁電流指令演算器は、

前記モータ回転速度の増加に反比例して励磁電流指令を小さくする弱め界磁機能を有し、前記モータが高速回転している時には励磁電流指令を前記弱め界磁機能による励磁電流指令よりも大きくすることを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

前記モータの力行/回生状態と前記モータ回転速度とを用いて、前記モータが回生状態であるときの前記リミッタの制限値を算出する q 軸電流制限値算出器をさらに有し、

前記リミッタは、前記 q 軸電流制限値算出器が算出する制限値を用いて前記トルク電流指令の大きさを制限することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のモータ制御装置。

20

【請求項 4】

前記モータに供給する電流を座標変換することによって q 軸電流フィードバック及び d 軸電流フィードバックを求める座標変換器をさらに有し、

前記モータ駆動部は、前記トルク電流指令から前記 q 軸電流フィードバックを減算した値及び前記励磁電流指令から前記 d 軸電流フィードバックを減算した値を用いて前記モータを駆動する電圧指令を求めることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載のモータ制御装置。

【請求項 5】

前記リミッタ通過後のトルク電流指令と前記励磁電流指令演算器が演算した励磁電流指令とからすべり周波数指令を演算するすべり周波数演算器をさらに有し、

前記座標変換器は、前記すべり周波数演算器が演算したすべり周波数指令を用いて前記モータに供給する電流を座標変換することを特徴とする請求項 4 に記載のモータ制御装置。

30

【請求項 6】

前記力行/回生判別器は、

前記モータ回転速度が設定したモータ回転速度閾値よりも大きく、かつ、トルク電流指令の大きさが設定したトルク電流閾値よりも小さい場合、または、前記モータ回転速度が設定したモータ回転速度閾値よりも小さく、かつ、トルク電流指令の大きさが設定したトルク電流閾値よりも大きい場合、には、モータが回生状態であると判別し、上記以外の場合には、モータが力行状態であると判別することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれかに記載のモータ制御装置。

40

【請求項 7】

前記 q 軸電流制限値算出器は、

前記モータが回生状態である時の制限値を下記の式によって算出することを特徴とする請求項 3 に記載のモータ制御装置。

$$\text{制限値 } I_{qLIM} = I_{qmax}$$

$$(0 < |\omega_m| < \omega_1 \text{ のとき})$$

$$\text{制限値 } I_{qLIM} = I_{qmax} - K_{LIM} \cdot (|\omega_m| - \omega_1)$$

$$(\omega_1 < |\omega_m| \text{ のとき})$$

50

ここで、 ω_1 : q 軸電流の制限開始回転速度

ω_1 は基底速度以上の値で前記モータ減速時のトルク特性に基づき調整する。

K L I M : 高速回転時の q 軸電流指令制限値の低減量を決める係数

【請求項 8】

トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの力行/回生状態を判別する力行/回生判別器と、

前記モータが力行状態であるときには前記トルク電流指令を通過させ回生状態であるときには前記トルク電流指令の大きさを制限して通過させるリミッタと、

前記モータ回転速度を用いて前記モータの磁束指令を演算する磁束指令演算器と、

前記モータに供給する電流から求めた磁束と前記磁束指令演算器が演算した磁束指令とから励磁電流指令を求める磁束制御器と、

前記リミッタ通過後のトルク電流指令と求めた励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、

を有することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 9】

前記磁束指令演算器は、

前記モータ回転速度の増加に応じて励磁電流指令を小さくする弱め界磁機能を有し、

前記モータが高速回転している時には励磁電流指令を前記弱め界磁機能による励磁電流指令よりも大きくすることを特徴とする請求項 8 に記載のモータ制御装置。

【請求項 10】

前記モータの力行/回生状態と前記モータ回転速度とを用いて、前記モータが回生状態であるときの前記リミッタの制限値を算出する q 軸電流制限値算出器をさらに有し、

前記リミッタは、前記 q 軸電流制限値算出器が算出する制限値を用いて前記トルク電流指令の大きさを制限することを特徴とする請求項 8 または 9 に記載のモータ制御装置。

【請求項 11】

前記モータに供給する電流から求めた磁束は、前記モータに供給する電流を座標変換することによって求めた d 軸電流フィードバックから磁束演算器が求めることを特徴とする請求項 8 から 10 のいずれかに記載のモータ制御装置。

【請求項 12】

トルク指令とモータ回転速度とを用いてモータの力行/回生状態を判別する力行/回生判別器と、

前記モータが力行状態であるときには前記トルク指令を通過させ回生状態であるときには前記トルク指令の大きさを制限して通過させるリミッタと、

前記リミッタを通過したトルク指令を用いてトルク電流指令を演算する q 軸電流演算器と、

前記モータ回転速度を用いて前記モータの磁束指令を演算する磁束指令演算器と、

前記モータに供給する電流から求めた磁束と前記磁束指令演算器が演算した磁束指令とから励磁電流指令を求める磁束制御器と、

演算したトルク電流指令と求めた励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、

を有することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 13】

前記モータの力行/回生状態と前記モータ回転速度とを用いて、前記モータが回生状態であるときの最大一次電流指令を算出する最大一次電流指令算出器と、

前記最大一次電流指令算出器が算出する最大一次電流指令、前記磁束制御器が求める励磁電流指令及び前記磁束演算器が求める磁束を用いて、前記モータが回生状態であるときの前記リミッタの制限値を演算するトルク制限値演算器と、をさらに有し、

前記リミッタは、前記トルク制限値演算器が演算する制限値を用いて前記トルク指令の大きさを制限することを特徴とする請求項 12 に記載のモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、誘導機のベクトル制御における加減速特性を改善したモータ制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

工作機械の主軸には、低速重切削と高速切削との両立が求められる。このため、弱め界磁による定出力制御を用いて、低速回転時の高トルク化と高速回転化とを実現している。定出力制御を行うモータ制御装置としては次のような構成のものが例示できる。

10

【0003】

図12は、従来のモータ制御装置のブロック図である。このモータ制御装置は次のように動作する。

【0004】

まず、速度指令を速度演算器15からのモータ回転速度 ω_m と比較し、速度制御器20によってq軸電流指令 I_{qC} を求める。速度演算器15が出力するモータ回転速度 ω_m は、エンコーダ10が検出する位置フィードバックを用いて演算する。q軸電流指令 I_{qC} を座標変換器25からのq軸電流フィードバック I_{qF} と比較し、q軸電流制御器30によってq軸電圧指令 V_{qC} を求める。

20

【0005】

一方、モータ回転速度 ω_m を参照して、必要とする磁束を磁束指令 ϕ_2C として与え、磁束指令 ϕ_2C を磁束演算器35が求めた磁束 ϕ_2 と比較し、磁束制御器40によってd軸電流指令 I_{dC} を求める。磁束演算器35が出力する磁束 ϕ_2 は、座標変換器25からのd軸電流フィードバック I_{dF} を用いて演算する。d軸電流指令 I_{dC} を座標変換器25からのd軸電流フィードバック I_{dF} と比較し、d軸電流制御器45によってd軸電圧指令 V_{dC} を求める。

【0006】

q軸電流指令 I_{qC} と磁束 ϕ_2 とからすべり周波数演算器50がすべり周波数指令 ω_s を算出する。すべり周波数指令 ω_s は速度演算器15が出力するモータ回転速度 ω_m と加算する。すべり周波数指令 ω_s とモータ回転速度 ω_m とで一次周波数指令 ω_1 を求める。一次周波数指令 ω_1 を積分器55で積分して固定子位置指令 θ_{mc} を求める。

30

【0007】

座標変換器60は固定子位置指令 θ_{mc} を基にq軸電圧指令 V_{qC} 、d軸電圧指令 V_{dC} を座標変換し、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} を求める。三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} はPWM制御器65、電力変換器70を介してモータ80に供給され、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} に応じてモータ80が駆動される。

【0008】

q軸電流フィードバック I_{qF} とd軸電流フィードバック I_{dF} は、固定子位置指令 θ_{mc} を基に、座標変換器25がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。

40

【0009】

磁束指令 ϕ_2C は、図12のグラフに示す通り、定トルク領域では一定にし、定出力領域では、モータ80の回転速度の上昇に反比例して減少させる。モータ80の回転速度の上昇に反比例して磁束指令 ϕ_2C を低減させることによって、弱め界磁制御をする。

【0010】

タッピング加工を行う工作機械の主軸には、加工時間を短縮化するために、小型で慣性が小さく、高速に回転できる主軸モータが求められる。モータの小型化や低慣性化を実現するため、モータの鉄心の磁束密度を高く設計すると、力行時の高速高負荷回転時に鉄心の飽和により十分な磁束を確立することができず、必要な大きさのトルクが出せないために加速時間が長くなるという問題がある。

50

【 0 0 1 1 】

これを改善するためには、高速回転時の磁束を増加させることが考えられる。この場合には、モータの減速時のトルクが加速時に比較して過大になりすぎるという問題がある。モータ減速時は、モータの回生電力により電力変換器の直流電圧が高くなるため、モータに加わる電圧が高くなり、鉄心の飽和が緩和されるため大きなトルクが出る。過大なトルクは機械系に悪影響を及ぼすために、仕様内に収めることが求められる。また、減速時のトルクが大きすぎると、回生電力が大きくなり、モータ制御装置の許容する回生電力を超えてしまうことがある。抵抗器で回生電力を消費させるモータ制御装置では、インバータの直流電圧が上昇して過電圧になってしまうという問題がある。また、電源に回生電力を返還させるモータ制御装置ではコンバータの電流が上昇して過電流になってしまうという問題があった。

10

【 0 0 1 2 】

これらの問題を改善するために、下記特許文献 1 に記載されている発明では、力行時と回生時とで磁束指令を変えている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 1 3 】

【 特許文献 1 】 特許第 4 0 6 5 9 0 3 号明細書

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

20

【 0 0 1 4 】

しかし、上記の特許文献 1 に記載されている発明を採用した場合、力行時と回生時とで磁束指令を変えると、力行から回生に移行するときに磁束が急変してトルク定数が変わり、トルクを出力していた場合、モータの出力トルクが急変して機械系に衝撃を与えてしまうという問題がある。

【 0 0 1 5 】

本発明は、上記のような従来のモータ制御装置の問題を解消するために成されたものであり、磁気飽和のあるモータの力行時における高速負荷回転時のトルク低下を改善して加速時間を短縮し、同時に、モータ回生時の過大なトルクも抑制して、インバータの過電圧やコンバータの過電流を防止し、しかもトルク定数の急変がなく、良好な加速特性と安全な減速特性が両立できるモータ制御装置の提供を目的とする。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 6 】

上記目的を達成するための、本発明にかかるモータ制御装置は、力行/回生判別器、リミッタ、励磁電流指令演算器及びモータ駆動部を有する。

【 0 0 1 7 】

力行/回生判別器は、トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの力行/回生状態を判別する。リミッタは、モータが力行状態であるときにはトルク電流指令を通過させ回生状態であるときにはトルク電流指令の大きさを制限して通過させる。励磁電流指令演算器は、モータ回転速度を用いてモータの回転状態を認識し当該回転状態に応じた励磁電流指令を演算する。モータ駆動部は、リミッタ通過後のトルク電流指令と演算した励磁電流指令とを用いてモータを駆動する。

40

【 発明の効果 】

【 0 0 1 8 】

以上のように構成された本発明にかかるモータ制御装置によれば、磁気飽和のあるモータの力行時における高速負荷回転時のトルク低下を改善して加速時間を短縮し、同時に、モータ回生時の過大なトルクも抑制して、インバータの過電圧やコンバータの過電流を防止し、しかもトルク定数の急変がなく、良好な加速特性と安全な減速特性とを両立させることができる。

【 図面の簡単な説明 】

50

【 0 0 1 9 】

【図 1】実施形態 1 に係るモータ制御装置のブロック図である。

【図 2】図 1 の力行/回生判別器における力行及び回生の判別手法を示す図である。

【図 3】図 1 の q 軸電流制限値算出器におけるモータ回転速度 ω_m と q 軸電流指令制限値 I_{qLIM} との関係を示す図である。

【図 4】図 1 の励磁電流指令演算器におけるモータ回転速度 ω_m と弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} との関係を示す図である。

【図 5】図 1 の励磁電流指令演算器におけるモータ回転速度 ω_m と励磁電流指令 I_{dC} との関係を示す図である。

【図 6】実施形態 2 に係るモータ制御装置のブロック図である。

10

【図 7】図 6 の q 軸電流制限値算出部におけるモータ回転速度 ω_m と弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} との関係を示す図である。

【図 8】図 6 の q 軸電流制限値算出部におけるモータ回転速度 ω_m と磁束指令 φ_{2C} との関係を示す図である。

【図 9】実施形態 3 に係るモータ制御装置のブロック図である。

【図 10】図 9 の力行/回生判別器における力行及び回生の判別手法を示す図である。

【図 11】図 9 の最大一次電流指令演算器におけるモータ回転速度 ω_m と最大一次電流指令 I_{PC} との関係を示す図である。

【図 12】従来のモータ制御装置の一例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

20

【 0 0 2 0 】

本発明にかかるモータ制御装置は、磁気飽和のあるモータの力行時における高速負荷回転時のトルク低下を改善して加速時間を短縮し、同時に、モータの回生時における過大なトルクも抑制して、インバータの過電圧やコンバータの過電流を防止し、しかもトルク定数の急変がなく、良好な加速特性と安全な減速特性とを両立させる。すなわち、本発明にかかるモータ制御装置はモータの加減速特性を改善させる。

【 0 0 2 1 】

次に、図面を参照しながら、上記のような特性を発揮する、本発明に係るモータ制御装置の実施形態を、〔実施形態 1〕から〔実施形態 3〕に分けて説明する。

【 0 0 2 2 】

30

〔実施形態 1〕

〔モータ制御装置 100 の全体構成〕

図 1 は、実施形態 1 に係るモータ制御装置 100 のブロック図である。

【 0 0 2 3 】

モータ制御装置 100 は、q 軸電圧指令 V_{qC} を与える系として、q 軸電流制御器 130、力行/回生判別器 175、q 軸電流制限値算出器 185 及びリミッタ 190 を有する。

【 0 0 2 4 】

力行/回生判別器 175 は、トルク電流指令 I_{qCB} とモータ回転速度 ω_m とから、モータ 180 が力行状態にあるのか、回生状態にあるのかを判別する。モータ回転速度 ω_m は速度演算器 115 から出力される。速度演算器 115 は、モータ回転速度 ω_m を、エンコーダ 110 が検出する位置フィードバックを用いて演算する。なお、力行/回生判別器 175 の詳細な動作は後述する。

40

【 0 0 2 5 】

q 軸電流制限値算出器 185 は、力行/回生判別器 175 による力行、回生判別結果とモータ回転速度 ω_m とから、q 軸電流制限値 I_{qLIM} を算出する。なお、q 軸電流制限値算出器 185 の詳細な動作は後述する。

【 0 0 2 6 】

リミッタ 190 は、q 軸電流制限値算出器 185 が算出した q 軸電流制限値 I_{qLIM} を入力し、トルク電流指令 I_{qCB} の値を制限する。なお、リミッタ 190 の詳細な動作

50

は後述する。

【0027】

q 軸電流制限器 130 は、リミッタ 190 を介して入力した q 軸電流指令 I_{qc} から q 軸電流フィードバック I_{qf} を減算して得られる電流偏差を入力し、q 軸電圧指令 V_{qc} を算出する。q 軸電流フィードバック I_{qf} は座標変換器 125 から出力される。q 軸電流フィードバック I_{qf} は、後述する固定子位置指令 θ_{mc} を基に、座標変換器 125 がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。q 軸電流制御器 130 は比例積分制御器で構成する。

【0028】

また、モータ制御装置 100 は、d 軸電圧指令 V_{dc} を与える系として、磁束電流指令演算器 135、d 軸電流制御器 145 を有する。

10

【0029】

励磁電流指令演算器 135 は、モータ回転速度 ω_m を入力し、モータ 180 の加減速特性を改善するための最適な q 軸電流指令 I_{dc} を演算する。なお、励磁電流指令演算器 135 の詳細な動作は後述する。

【0030】

d 軸電流制御器 145 は、励磁電流指令演算器 135 から出力された q 軸電流指令 I_{dc} から d 軸電流フィードバック I_{df} を減算して得られる電流偏差を入力し、d 軸電圧指令 V_{dc} を算出する。d 軸電流フィードバック I_{df} は座標変換器 125 から出力される。d 軸電流フィードバック I_{df} は、後述する固定子位置指令 θ_{mc} を基に、座標変換器 125 がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。d 軸電流制御器 145 は、比例積分制御器で構成する。

20

【0031】

さらに、モータ制御装置 100 は、座標変換を行わせるための系として、すべり周波数演算器 150、積分器 155、OSC 157、座標変換器 125、160 を有する。

【0032】

すべり周波数演算器 150 は、q 軸電流指令 I_{qc} と励磁電流指令演算器 135 から出力される d 軸電流指令 I_{dc} を入力し、すべり周波数指令 ω_s を算出する。なお、すべり周波数演算器 150 の詳細な動作は後述する。

【0033】

積分器 155 は、すべり周波数演算器 150 から出力されるすべり周波数指令 ω_s と速度演算器 115 から出力されるモータ回転速度 ω_m とを加算して得られる一次周波数指令 ω_1 を入力し、一次周波数指令 ω_1 を積分して固定子位置指令 θ_{mc} を求める。固定子位置指令 θ_{mc} は OSC 157 を介して座標変換器 125、160 に出力される。

30

【0034】

座標変換器 160 は、入力した固定子位置指令 θ_{mc} を基に、q 軸電圧指令 V_{qc} 、d 軸電圧指令 V_{dc} を座標変換し、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} を求める。

【0035】

座標変換器 125 は、入力した固定子位置指令 θ_{mc} を基に、モータ電流 I_u 、 I_v を座標変換し、q 軸電流フィードバック I_{qf} 、d 軸電流フィードバック I_{df} を求める。

40

【0036】

さらに、モータ制御装置 100 は、モータ 180 を駆動させるための系として、PWM 制御器 165、電力変換器 170 を有する。なお、PWM 制御器 165、電力変換器 170、q 軸電流制御器 130、d 軸電流制御器 145、座標変換器 160 によってモータ駆動部を形成する。

【0037】

PWM 制御器 165 は、座標変換器 160 から出力される三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} を入力し、入力した三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} に基づいて、電力変換器 170 をスイッチングさせるための PWM 信号を出力する。

【0038】

50

電力変換器 170 は、PWM 制御器 165 から出力される PWM 信号を入力して内部に備えた半導体スイッチング素子をスイッチングし、モータ 180 を駆動する。

【0039】

[力行/回生判別器 175 の動作]

前述のように、力行/回生判別器 175 は、トルク電流指令 I_{qCB} とモータ回転速度 ω_m とから、モータ 180 が力行状態にあるのか、回生状態にあるのかを判別する。

【0040】

力行、回生判別は、モータ 180 の損失やエンコーダ 110 の量子化誤差に起因する速度リップルを考慮し、図 2 に示すように、モータ回転速度閾値 ω_A 、トルク電流指令閾値 I_{qA} を用いて行う。モータ回転速度閾値 ω_A は、エンコーダ 110 の量子化誤差を考慮して決め、モータ 180 の無負荷運転時に、力行、回生判別結果がチャタリングしないようにしている。トルク電流指令閾値 I_{qA} は、モータ 180 の損失を考慮して決め、モータ 180 の回生電力 - モータ損失 = 0 となるときのトルク電流指令 I_{qCB} の値で設定する。

【0041】

力行/回生判別器 175 は、図 2 に示すように、 $\omega_m - \omega_A$ かつ $I_{qCB} - I_{qA}$ 、または、 $\omega_m - \omega_A$ かつ $I_{qCB} - I_{qA}$ の条件の場合には回生状態にあると判定し、これらの条件以外の条件の場合には、力行状態にあると判断する。

【0042】

[q 軸電流制限値算出器 185 の動作]

前述のように、q 軸電流制限値算出器 185 は、力行/回生判別器 175 による力行、回生判別結果とモータ回転速度 ω_m とから、q 軸電流制限値 I_{qLIM} を算出する。具体的には、q 軸電流制限値算出器 185 は、力行状態の場合には q 軸電流 I_{qC} は制限せず、回生状態の場合には図 3 に示すように q 軸電流 I_{qC} を制限する。

【0043】

q 軸電流指令制限値 $I_{qLIM} = I_{qmax}$

($0 \leq |\omega_m| \leq \omega_1$ のとき)

q 軸電流制限値 $I_{qLIM} = I_{qmax} - K_{LIM} \cdot (|\omega_m| - \omega_1)$

($\omega_1 < |\omega_m|$ のとき)

ここで、 ω_1 : q 軸電流の制限開始回転速度

ω_1 は基底速度以上の値でモータ 180 減速時のトルク特性に基づき調整する。

【0044】

K_{LIM} : 高速回転時の q 軸電流指令制限値の低減量を決める係数

[リミッタ 190 の動作]

前述のように、リミッタ 190 は、q 軸電流制限値算出器 185 が算出した q 軸電流制限値 I_{qLIM} を入力し、トルク電流指令 I_{qCB} の値を制限する。リミッタ 190 は、トルク電流指令 I_{qCB} を通し、リミット後の q 軸電流指令 I_{qc} を求める。

【0045】

[励磁電流指令演算器 135 の動作]

前述のように、励磁電流指令演算器 135 は、モータ 180 の加減速特性を改善するための最適な励磁電流指令 I_{dC} を演算する。

【0046】

図 4 は、図 1 の励磁電流指令演算器 135 におけるモータ回転速度 ω_m と弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} との関係を示す図である。励磁電流指令演算器 135 はモータ回転速度 ω_m に応じた弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を演算する。また、図 5 は、図 1 の励磁電流指令演算器 135 におけるモータ回転速度 ω_m と励磁電流指令 I_{dC} との関係を示す図である。励磁電流指令演算器 135 はモータ回転速度 ω_m に応じた励磁電流指令 I_{dC} を演算する。

【0047】

図 4 及び図 5 は、モータ回転速度 ω_m に対する励磁電流指令特性を示している。図 4 は

10

20

30

40

50

、弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を示し、図 5 は、励磁電流指令 I_{dC} を示している。

【 0 0 4 8 】

図 4 に示すように、弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} は、モータ回転速度 ω_m が 0 から ω_0 までは電流 I_0 のままで変わらない。モータ回転速度が ω_0 を超えると、励磁電流指令 I_{dCB} は、モータ回転速度 ω_m の増加に応じて、電流 I_0 から一定の傾きで上昇する。

【 0 0 4 9 】

また、図 5 に示すように、励磁電流指令 I_{dC} は、モータ回転速度 ω_m が 0 から ω_0 までは電流 I_0 のままで変わらない。モータ回転速度が ω_0 を超えると、モータ回転速度 ω_m の増加に反比例して下降する。

10

【 0 0 5 0 】

励磁電流指令演算器 135 は、弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を次式によって求める。

【 0 0 5 1 】

$$I_{dCB} = I_0$$

(0 $\leq |\omega_m| \leq \omega_0$ のとき)

$$I_{dCB} = \varphi_0 + K_0 \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (1)

ここで、 ω_0 : 基底速度

20

I_0 : 基底速度における励磁電流

φ_0 : 基底速度における磁束

K_0 : 高速回転時の励磁電流指令を上昇させる係数

上記の式 (1) にモータ回転速度 ω_m を代入して弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を可視化すると図 4 のようなグラフとなる。

【 0 0 5 2 】

高速回転時の励磁電流指令を上昇させる係数 K_0 によって、モータ 180 の高速回転時の励磁電流指令が大きくなり、磁気飽和があっても磁束が小さくならないようにでき、加減速特性が改善できる。 K_0 の最適値をどの値にするかは、トライアンドエラーによる実験によって求めるか、シミュレーションによって求める。

30

【 0 0 5 3 】

励磁電流指令演算器 135 は、上記のようにして弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を求めた後、励磁電流指令 I_{dC} を次式によって求める。

【 0 0 5 4 】

$$I_{dC} = I_{dCB}$$

(0 $\leq |\omega_m| \leq \omega_0$ のとき)

$$I_{dC} = I_{dCB} \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (2)

上記の式 (2) にモータ回転速度 ω_m を代入して励磁電流指令 I_{dC} を可視化すると図 5 のようなグラフとなる。

40

【 0 0 5 5 】

励磁電流指令演算器 135 は、モータ回転速度 ω_m に応じて、(1) 式の演算を行って弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を求めた後に、弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} に対して (2) 式の演算を行い、励磁電流指令 I_{dC} を d 軸電流制御器 145 に向けて出力する。

【 0 0 5 6 】

[すべり周波数演算器 150 の動作]

すべり周波数演算器 150 は、下記の式に示すように、リミッタ 190 通過後の q 軸電流指令 I_{qC} と d 軸電流指令 I_{dC} とからすべり周波数指令 ω_s を算出する。すべり周波数指令 ω_s は次式によって求める。

50

【 0 0 5 7 】

$$\omega s = R 2 / L 2 \cdot (I q C / I d C) \quad \dots (3)$$

R 2 : 二次抵抗

L 2 : 二次インダクタンス

[モータ制御装置 1 0 0 の動作]

まず、入力したトルク電流指令 $I q C B$ をリミッタ 1 9 0 によって制限し、リミッタ 1 9 0 から出力された q 軸電流 $I q C$ を座標変換器 1 2 5 からの q 軸電流フィードバック $I q F$ と比較し、 q 軸電流制御器 1 3 0 によって q 軸電圧指令 $V q C$ を求める。

【 0 0 5 8 】

一方、モータ回転速度 ωm から、励磁電流指令演算器 1 3 5 が上記の (1) 式及び (2) 式を用いて求めた d 軸電流指令 $I d C$ を、座標変換器 1 2 5 からの d 軸電流フィードバック $I d F$ と比較し、 d 軸電流制御器 1 4 5 によって d 軸電圧指令 $V d C$ を求める。

10

【 0 0 5 9 】

q 軸電流指令 $I q C$ と励磁電流指令 $I d C$ とから、すべり周波数演算器 1 5 0 が上記の (3) 式を用いてすべり周波数指令 ωs を算出する。すべり周波数指令 ωs は速度演算器 1 1 5 が出力するモータ回転速度 ωm と加算する。すべり周波数指令 ωs とモータ回転速度 ωm とで一次周波数指令 $\omega 1$ を求める。一次周波数指令 $\omega 1$ を積分器 1 5 5 で積分して固定子位置指令 $\theta m c$ を求める。

【 0 0 6 0 】

座標変換器 1 6 0 は固定子位置指令 $\theta m c$ を基に q 軸電圧指令 $V q C$ 、 d 軸電圧指令 $V d C$ を座標変換し、三相電圧指令 $V u c$ 、 $V v c$ 、 $V w c$ を求める。三相電圧指令 $V u c$ 、 $V v c$ 、 $V w c$ は PWM 制御器 1 6 5、電力変換器 1 7 0 を介してモータ 1 8 0 に供給され、三相電圧指令 $V u c$ 、 $V v c$ 、 $V w c$ に応じてモータ 1 8 0 が駆動される。

20

【 0 0 6 1 】

q 軸電流フィードバック $I q F$ と d 軸電流フィードバック $I d F$ は、固定子位置指令 $\theta m c$ を基に、座標変換器 1 2 5 がモータ電流 $I u$ 、 $I v$ を座標変換することによって求める。

【 0 0 6 2 】

以上に説明したように、励磁電流指令演算器 1 3 5 は、モータ回転速度と基底速度との差に比例させて励磁電流を増加させた値を求め、その値を基に弱め界磁を実施するようにし、さらに、弱め界磁領域で q 軸電流指令 $I q c$ に比例させて磁束を低減する。つまり、励磁電流指令演算器 1 3 5 は、モータ 1 8 0 の加減速特性を改善するための最適な励磁電流指令 $I d C$ を出力する。

30

【 0 0 6 3 】

このため、実施形態 1 にかかるモータ制御装置 1 0 0 によれば、磁気飽和のあるモータの力行時における高速負荷回転時のトルク低下を改善して加速時間を短縮し、同時に、モータ回生時における過大なトルクも抑制して、インバータの過電圧やコンバータの過電流を防止し、しかもトルク定数の急変がなく、良好な加速特性と安全な減速特性とを両立させることができる。

【 0 0 6 4 】

なお、実施形態 1 に係るモータ制御装置 1 0 0 は、 q 軸電圧指令 $V q C$ 、 d 軸電圧指令 $V d C$ を出力する系に非干渉制御器を設け、 d 軸及び q 軸の干渉を制御するようにしても良い。また、 d 軸及び q 軸の電流制御系の内部を三相電流制御系で構成しても良い。さらに、励磁電流指令を基底速度からではなく任意の回転速度から上昇させるようにしても良い。

40

【 0 0 6 5 】

[実施形態 2]

[モータ制御装置 2 0 0 の全体構成]

図 6 は、実施形態 2 に係るモータ制御装置 2 0 0 のブロック図である。実施形態 2 に係るモータ制御装置 2 0 0 は、実施形態 1 に係るモータ制御装置 1 0 0 の構成に磁束制御器

50

と磁束演算器を付加し、励磁電流指令演算器 1 3 5 に換えて磁束指令演算器を設けている。

【 0 0 6 6 】

モータ制御装置 2 0 0 は、q 軸電圧指令 $V_q C$ を与える系として、q 軸電流制御器 2 3 0、力行/回生判別器 2 7 5、q 軸電流制限値算出器 2 8 5 及びリミッタ 2 9 0 を有する。q 軸電流制御器 2 3 0、力行/回生判別器 2 7 5、q 軸電流制限値算出器 2 8 5 及びリミッタ 2 9 0 は、実施形態 1 の q 軸電流制御器 1 3 0、力行/回生判別器 1 7 5、q 軸電流制限値算出器 1 8 5 及びリミッタ 1 9 0 と同一である。

【 0 0 6 7 】

また、モータ制御装置 2 0 0 は、d 軸電圧指令 $V_d C$ を与える系として、磁束指令演算器 2 2 0、磁束制御器 2 4 0、d 軸電流制御器 2 4 5 を有する。

10

【 0 0 6 8 】

磁束指令演算器 2 2 0 は、モータ回転速度 ω_m を入力し、モータ 2 8 0 の加減速特性を改善するための最適な磁束指令 $\phi_2 C$ を演算する。なお、磁束指令演算器 2 2 0 の詳細な動作は後述する。

【 0 0 6 9 】

磁束制御器 2 4 0 は、磁束指令演算器 2 2 0 から出力された磁束指令 $\phi_2 C$ から磁束 ϕ_2 を減算して得られる磁束偏差を入力し、d 軸電流指令 $I_d C$ を算出する。磁束 ϕ_2 は磁束演算器 2 3 5 から出力される。磁束制御器 2 4 0 は、比例積分制御器で構成する。

【 0 0 7 0 】

20

磁束演算器 2 3 5 は、磁束 ϕ_2 を、座標変換器 2 2 5 が出力する d 軸電流フィードバック $I_d F$ を用いて演算する。磁束演算器 2 3 5 の詳細な動作は後述する。

【 0 0 7 1 】

d 軸電流制御器 2 4 5 は、磁束制御器 2 4 0 から出力された d 軸電流指令 $I_d c$ から d 軸電流フィードバック $I_d F$ を減算して得られる電流偏差を入力し、d 軸電圧指令 $V_d C$ を算出する。d 軸電流フィードバック $I_d F$ は座標変換器 2 2 5 から出力される。d 軸電流フィードバック $I_d F$ は、後述する固定子位置指令 $\theta_m c$ を基に、座標変換器 2 2 5 がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。d 軸電流制御器 2 4 5 は、比例積分制御器で構成する。

【 0 0 7 2 】

30

さらに、モータ制御装置 2 0 0 は、座標変換を行わせるための系として、すべり周波数演算器 2 5 0、積分器 2 5 5、OSC 2 5 7、座標変換器 2 2 5、2 6 0 を有する。

【 0 0 7 3 】

すべり周波数演算器 2 5 0 は、入力した q 軸電流指令 $I_q C$ と磁束演算器 2 3 5 から出力される磁束 ϕ_2 を入力し、すべり周波数指令 ω_s を算出する。なお、すべり周波数演算器 2 5 0 の詳細な動作は後述する。

【 0 0 7 4 】

積分器 2 5 5、OSC 2 5 7、座標変換器 2 2 5、2 6 0 は、実施形態 1 の積分器 1 5 5、OSC 1 5 7、座標変換器 1 2 5、1 6 0 と同一である。

【 0 0 7 5 】

40

さらに、モータ制御装置 2 0 0 は、モータ 2 8 0 を駆動させるための系として、PWM 制御器 2 6 5、電力変換器 2 7 0 を有する。PWM 制御器 2 6 5、電力変換器 2 7 0 は、実施形態 1 の PWM 制御器 1 6 5、電力変換器 1 7 0 と同一である。なお、PWM 制御器 2 6 5、電力変換器 2 7 0、q 軸電流制御器 2 3 0、d 軸電流制御器 2 4 5、座標変換器 2 6 0 によってモータ駆動部を形成する。

【 0 0 7 6 】

[磁束指令演算器 2 2 0 の動作]

前述のように、磁束指令演算器 2 2 0 は、モータ 2 8 0 の加減速特性を改善するための最適な磁束指令 $\phi_2 C$ を演算する。

【 0 0 7 7 】

50

図 7 は、図 6 の磁束指令演算器 220 におけるモータ回転速度 ω_m と弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} との関係を示す図である。磁束指令演算器 220 はモータ回転速度 ω_m に応じた弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} を演算する。また、図 8 は、図 6 の磁束指令演算器 220 におけるモータ回転速度 ω_m と磁束指令 φ_{2C} との関係を示す図である。磁束指令演算器 220 はモータ回転速度 ω_m に応じた磁束指令 φ_{2C} を演算する。

【0078】

図 7 及び図 8 は、モータ回転速度 ω_m に対する磁束 φ_0 の磁束指令特性を示している。図 7 は、弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} を示し、図 8 は、磁束指令 φ_{2C} を示している。

【0079】

図 7 に示すように、弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} は、モータ回転速度 ω_m が 0 から ω_0 までは磁束 φ_0 のままで変わらない。モータ回転速度が ω_0 を超えると、磁束指令 φ_{2CB} は磁束 φ_0 から一定の傾きで上昇する。

【0080】

また、図 8 に示すように、磁束指令 φ_{2C} は、モータ回転速度 ω_m が 0 から ω_0 までは磁束 φ_0 のままで変わらない。モータ回転速度が ω_0 を超えると、磁束指令 φ_{2C} は磁束 φ_0 からモータ回転速度 ω_m の増加に反比例して下降する。

【0081】

磁束指令演算器 220 は、弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} を次式によって求める。

【0082】

$$\varphi_{2CB} = \varphi_0$$

(0 ≤ ω_m ≤ ω_0 のとき)

$$\varphi_{2CB} = \varphi_0 + K_0 \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (4)

ここで、 ω_0 : 基底速度

φ_0 : 基底速度における磁束

K_0 : 高速回転時の磁束を上昇させる係数

上記の式 (4) にモータ回転速度 ω_m を代入して磁束指令 φ_{2CB} を可視化すると図 7 のようなグラフとなる。

【0083】

高速回転時の磁束を上昇させる係数 K_0 によって高速回転軽負荷の磁束指令 φ_{2CB} の値を大きくすることができ、モータ 180 の高速回転時の励磁電流指令が大きくなり、磁気飽和があっても磁束が小さくならないようにでき、加減速特性が改善できる。 K_0 の最適値をどの値にするかは、トライアンドエラーによる実験によって求めるか、シミュレーションによって求める。

【0084】

磁束指令演算器 220 は、上記のようにして弱め界磁前の磁束指令を求めた後、磁束指令 φ_{2C} を次式によって求める。

【0085】

$$\varphi_{2C} = \varphi_{2CB}$$

(0 ≤ ω_m ≤ ω_0 のとき)

$$\varphi_{2C} = \varphi_{2CB} \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (5)

上記の式 (5) にモータ回転速度 ω_m を代入して磁束指令 φ_{2C} を可視化すると図 8 のようなグラフとなる。

【0086】

磁束指令演算器 220 は、モータ回転速度 ω_m に応じて、(4) 式の演算を行って弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} を求めた後に、磁束指令 φ_{2CB} に対して (5) 式の演算を行い、磁束指令 φ_{2C} を磁束制御器 240 に向けて出力する。

【0087】

[すべり周波数演算器 250 の動作]

10

20

30

40

50

すべり周波数演算器 250 は、下記の式に示すように、q 軸電流指令 I_{qc} と磁束 ϕ_2 とからすべり周波数指令 ω_s を算出する。すべり周波数指令 ω_s は次式によって求める。

【0088】

$$\omega_s = M \cdot R_2 / L_2 \cdot (I_{qc} / \phi_2) \quad \dots (6)$$

R_2 : 二次抵抗

ϕ_2 : 二次磁束

L_2 : 二次インダクタンス

M : 相互インダクタンス

[磁束演算器 235 の動作]

磁束演算器 235 は、下記の式に示すように、d 軸電流フィードバック I_{dF} から磁束 ϕ_2 を求める。

【0089】

$$\phi_2 = 1 / (1 + L_2 / R_2 \cdot S) \cdot M \cdot I_{dF} \quad \dots (7)$$

S : すべり

I_{dF} : q 軸電流フィードバック

[モータ制御装置 200 の動作]

まず、入力したトルク電流指令 I_{qCB} をリミッタ 290 によって制限し、リミッタ 290 から出力された q 軸電流 I_{qC} を座標変換器 225 からの q 軸電流フィードバック I_{qF} と比較し、q 軸電流制御器 230 によって q 軸電圧指令 V_{qC} を求める。

【0090】

一方、モータ回転速度 ω_m から、磁束指令演算器 220 が上記の (4) 式及び (5) 式を用いて算出した磁束を磁束指令 ϕ_2C として与え、磁束演算器 235 が上記の (7) 式を用いて算出した磁束 ϕ_2 と比較し、磁束制御器 240 によって d 軸電流指令 I_{dC} を求める。d 軸電流指令 I_{dC} を座標変換器 225 からの d 軸電流フィードバック I_{dF} と比較し、d 軸電流制御器 245 によって d 軸電圧指令 V_{dC} を求める。

【0091】

q 軸電流指令 I_{qC} と磁束 ϕ_2 とからすべり周波数演算器 250 が上記の (6) 式を用いてすべり周波数指令 ω_s を算出する。すべり周波数指令 ω_s は速度演算器 215 が出力するモータ回転速度 ω_m と加算する。すべり周波数指令 ω_s とモータ回転速度 ω_m とで一次周波数指令 ω_1 を求める。一次周波数指令 ω_1 を積分器 255 で積分して固定子位置指令 θ_{mc} を求める。

【0092】

座標変換器 260 は固定子位置指令 θ_{mc} を基に q 軸電圧指令 V_{qC} 、d 軸電圧指令 V_{dC} を座標変換し、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} を求める。三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} は PWM 制御器 265、電力変換器 270 を介してモータ 280 に供給され、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} に応じてモータ 280 が駆動される。

【0093】

q 軸電流フィードバック I_{qF} と d 軸電流フィードバック I_{dF} は、固定子位置指令 θ_{mc} を基に、座標変換器 225 がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。

【0094】

以上に説明したように、磁束指令演算器 220 は、モータ回転速度と基底速度との差に比例させて磁束を増加させた値を求め、その値を基に弱め界磁を実施するようにし、さらに、弱め界磁領域でトルク電流指令 I_{qc} に比例させて磁束を低減する。つまり、磁束制御器 240 は、モータ 280 の加減速特性を改善するための最適な励磁電流指令 I_{dC} を出力する。

【0095】

このため、実施形態 2 にかかるモータ制御装置 200 によれば、磁気飽和のあるモータの力行時における高速負荷回転時のトルク低下を改善して加速時間を短縮し、同時に、モータ回生時における過大なトルクも抑制して、インバータの過電圧やコンバータの過電流

10

20

30

40

50

を防止し、しかもトルク定数の急変がなく、良好な加速特性と安全な減速特性とを両立させることができる。

【 0 0 9 6 】

なお、実施形態 2 に係るモータ制御装置 2 0 0 は、q 軸電圧指令 V_{qC} 、d 軸電圧指令 V_{dC} を出力する系に非干渉制御器を設け、d 軸及び q 軸の干渉を制御するようにしても良い。また、d 軸及び q 軸の電流制御系の内部を三相電流制御系で構成しても良い。さらに、励磁電流指令を基底速度からではなく任意の回転速度から上昇させるようにしても良い。

【 0 0 9 7 】

〔実施形態 3〕

〔モータ制御装置 3 0 0 の全体構成〕

図 9 は、実施形態 3 に係るモータ制御装置 3 0 0 のブロック図である。実施形態 3 に係るモータ制御装置 3 0 0 は、実施形態 2 に係るモータ制御装置 2 0 0 の構成に最大一次電流指令算出器、トルク制限値演算器及び q 軸電流演算器を付加している。

【 0 0 9 8 】

モータ制御装置 3 0 0 は、q 軸電圧指令 V_{qC} を与える系として、q 軸電流制御器 3 3 0、力行/回生判別器 3 7 5、最大一次電流指令算出器 3 8 3、トルク制限値演算器 3 8 5、リミッタ 3 9 0 及び q 軸電流演算器 3 9 5 を有する。q 軸電流制御器 3 3 0 及び力行/回生判別器 3 7 5 は、実施形態 2 の q 軸電流制御器 2 3 0 及び力行/回生判別器 2 7 5 と同一である。

【 0 0 9 9 】

最大一次電流指令算出器 3 8 3 は、モータ 3 8 0 に供給する一次電流指令の最大値を算出し、最大一次電流指令 I_{PC} としてトルク制限値演算器 3 8 5 に出力する。最大一次電流指令算出器 3 8 3 の詳細な動作は後述する。

【 0 1 0 0 】

トルク制限値演算器 3 8 5 は、磁束演算器 3 3 5 が出力する磁束 ϕ_2 、磁束制御器 3 4 0 が出力する d 軸電流指令 I_{dC} 、最大一次電流指令 I_{PC} から、トルク制限値 T_{LIM} を演算する。トルク制限値演算器 3 8 5 の詳細の動作は後述する。

【 0 1 0 1 】

リミッタ 3 9 0 は、トルク制限値演算器 3 8 5 が出力するトルク制限値 T_{LIM} を入力して、トルク指令 T_{CB} の値を制限する。リミッタ 3 9 0 の詳細な動作は後述する。

【 0 1 0 2 】

q 軸電流演算器 3 9 5 は、リミッタ 3 9 0 を介して入力されるトルク指令 T_{CB} を用いて q 軸電流 I_{qC} を演算する。q 軸電流演算器 3 9 5 の詳細な動作は後述する。

【 0 1 0 3 】

また、モータ制御装置 3 0 0 は、d 軸電圧指令 V_{dC} を与える系として、磁束指令演算器 3 2 0、磁束制御器 3 4 0、d 軸電流制御器 3 4 5 を有する。磁束指令演算器 3 2 0、磁束制御器 3 4 0、d 軸電流制御器 3 4 5 は、実施形態 2 の磁束指令演算器 2 2 0、磁束制御器 2 4 0、d 軸電流制御器 2 4 5 と同一である。

【 0 1 0 4 】

さらに、モータ制御装置 3 0 0 は、座標変換を行わせるための系として、すべり周波数演算器 3 5 0、積分器 3 5 5、OSC 3 5 7、座標変換器 3 2 5、3 6 0 を有する。すべり周波数演算器 3 5 0、積分器 3 5 5、OSC 3 5 7、座標変換器 3 2 5、3 6 0 は、実施形態 2 のすべり周波数演算器 2 5 0、積分器 2 5 5、OSC 2 5 7、座標変換器 2 2 5、2 6 0 と同一である。

【 0 1 0 5 】

さらに、モータ制御装置 3 0 0 は、モータ 3 8 0 を駆動させるための系として、PWM 制御器 3 6 5、電力変換器 3 7 0 を有する。PWM 制御器 3 6 5、電力変換器 3 7 0 は、実施形態 2 の PWM 制御器 2 6 5、電力変換器 2 7 0 と同一である。なお、PWM 制御器 3 6 5、電力変換器 3 7 0、q 軸電流制御器 3 3 0、d 軸電流制御器 3 4 5、座標変換器

10

20

30

40

50

360によってモータ駆動部を形成する。

【0106】

[力行/回生判別器375の動作]

前述のように、力行/回生判別器375は、トルク指令TCBとモータ回転速度 ω_m とから、モータ380が力行状態にあるのか、回生状態にあるのかを判別する。

【0107】

力行、回生判別は、モータ380の損失やエンコーダ310の量子化誤差に起因する速度リップルを考慮し、図10に示すように、モータ回転速度閾値 ω_A 、トルク指令閾値TCAを用いて行う。モータ回転速度閾値 ω_A は、エンコーダ310の量子化誤差を考慮して決め、モータ380の無負荷運転時に、力行、回生判別結果がチャタリングしないようにしている。トルク指令閾値TCAは、モータ380の損失を考慮して決め、モータ380の回生電力 - モータ損失 = 0となるときのトルク電流指令TCBの値を設定する。

10

【0108】

力行/回生判別器375は、図10に示すように、 $\omega_m - \omega_A$ かつ $TCB - TCA$ 、または、 $\omega_m - \omega_A$ かつ $TCB - TCA$ の条件の場合には回生状態にあると判定し、これらの条件以外の条件の場合には、力行状態にあると判断する。

【0109】

[最大一次電流指令算出器383の動作]

前述のように、最大一次電流指令算出器383は、力行/回生判別器375による力行、回生判別結果とモータ回転速度 ω_m とから、最大一次電流指令IPCを算出する。具体的には、最大一次電流指令算出器383は、力行状態の場合には最大一次電流指令IPCは制限せず、回生状態の場合には図11に示すように最大一次電流指令IPCを制限する。

20

【0110】

最大一次電流指令 $IPC = IPC_{max}$

($0 \leq |\omega_m| \leq \omega_1$ のとき)

最大一次電流指令 $IPC = IPC_{max} - K_{LIM} \cdot (|\omega_m| - \omega_1)$

($\omega_1 < |\omega_m|$ のとき)

ここで、 ω_1 : q軸電流の制限開始回転速度

ω_1 は基底速度以上の値でモータ180減速時のトルク特性に基づき調整する。

30

【0111】

K_{LIM} : 高速回転時の最大一次電流指令値の低減量を決める係数

[リミッタ390の動作]

前述のように、リミッタ390は、トルク制限値演算器385が算出したトルク制限値TLIMを入力し、トルク指令TCBの値を制限する。

【0112】

[磁束指令演算器320の動作]

前述のように、磁束指令演算器320は、モータ380の加減速特性を改善するための最適な磁束指令 ϕ_2C を演算する。

【0113】

磁束指令演算器320は、弱め界磁前の磁束指令 ϕ_2CB を次式によって求める。

40

【0114】

$\phi_2CB = \phi_0$

($0 \leq |\omega_m| \leq \omega_0$ のとき)

$\phi_2CB = \phi_0 + K_0 \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (9)

ここで、 ω_0 : 基底速度

ϕ_0 : 基底速度における磁束

K_0 : 高速回転時の磁束を上昇させる係数

上記の式(9)にモータ回転速度 ω_m を代入して磁束指令 ϕ_2CB を可視化すると実施

50

形態 2 で示した図 8 のようなグラフとなる。

【 0 1 1 5 】

高速回転時の磁束を上昇させる係数 K_0 によって高速回転軽負荷の磁束指令 ϕ_{2CB} の値を大きくすることができ、モータ 380 の高速回転時の励磁電流指令が大きくなり、磁気飽和があっても磁束が小さくならないようにでき、加減速特性が改善できる。 K_0 の最適値をどの値にするかは、トライアンドエラーによる実験によって求めるか、シミュレーションによって求める。

【 0 1 1 6 】

磁束指令演算器 320 は、上記のようにして弱め界磁前の磁束指令を求めた後、磁束指令 ϕ_{2C} を次式によって求める。

【 0 1 1 7 】

$$\phi_{2C} = \phi_{2CB}$$

($0 < |\omega_m| < \omega_0$ のとき)

$$\phi_{2C} = \phi_{2CB} \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (10)

上記の式 (10) にモータ回転速度 ω_m を代入して磁束指令 ϕ_{2C} を可視化すると実施形態 2 で示した図 9 のようなグラフとなる。

【 0 1 1 8 】

磁束指令演算器 320 は、モータ回転速度 ω_m に応じて、(9) 式の演算を行って弱め界磁前の磁束指令 ϕ_{2CB} を求めた後に、磁束指令 ϕ_{2CB} に対して (10) 式の演算を行い、磁束指令 ϕ_{2C} を磁束制御器 340 に向けて出力する。

【 0 1 1 9 】

[すべり周波数演算器 350 の動作]

すべり周波数演算器 350 は、実施形態 2 のすべり周波数演算器 250 と同様に、上記の (6) 式を用いて、トルク電流指令 I_{qc} と磁束 ϕ_{2C} とからすべり周波数指令 ω_s を算出する。

【 0 1 2 0 】

[磁束演算器 335 の動作]

磁束演算器 335 は、実施形態 2 の磁束演算器 235 と同様に、上記の (7) 式を用いて、d 軸電流フィードバック I_{dF} から磁束 ϕ_2 を求める。

【 0 1 2 1 】

[トルク制限値演算器 385 の動作]

トルク制限値演算器 385 は、d 軸電流指令 I_{dC} と最大一次電流指令 I_{PC} とから次式を用いてトルク制限値 T_{LIM} を演算する。

【 0 1 2 2 】

$$T_{LIM} = P_m \cdot M / L_2 \cdot \phi_2 \cdot (I_{PC}^2 - I_{dC}^2)^{1/2} \quad \dots (11)$$

ここで、 P_m はモータ 380 の極対数

[q 軸電流演算器 395 の動作]

q 軸電流演算器 395 は、リミッタ 390 を介してトルク制限された後のトルク指令から q 軸電流指令 I_{qC} を、次式を用いて求める。

【 0 1 2 3 】

$$I_{qC} = L_2 / (P_m \cdot M \cdot \phi_2) \cdot (\text{トルク制限された後のトルク指令}) \quad \dots (12)$$

[モータ制御装置 300 の動作]

入力したトルク指令 T_{CB} は、リミッタ 390 によってトルク制限値 T_{LIM} 内に制限され、q 軸電流演算器 395 に出力される。q 軸電流演算器 395 は、トルク制限後のトルク指令 T_{CB} と磁束 ϕ_2 に基づいて q 軸電流指令 I_{qC} を求める。q 軸電流指令 I_{qC} を座標変換器 325 からの q 軸電流フィードバック I_{qF} と比較し、q 軸電流制御器 330 によって q 軸電圧指令 V_{qC} を求める。なお、リミッタ 390 がトルク指令 T_{CB} の値を制限するためのトルク制限値 T_{LIM} は、トルク制限値演算器 385 が上記の (11) 式を用いて算出する。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 4 】

一方、磁束指令演算器 3 2 0 が上記の (9) 式及び (1 0) 式を用いて算出した磁束を磁束指令 $\phi 2 C$ として与え、磁束演算器 3 3 5 が上記の (7) 式を用いて算出した磁束 $\phi 2$ と比較し、磁束制御器 3 4 0 によって d 軸電流指令 $I d C$ を求める。d 軸電流指令 $I d C$ を座標変換器 3 2 5 からの d 軸電流フィードバック $I d F$ と比較し、d 軸電流制御器 3 4 5 によって d 軸電圧指令 $V d C$ を求める。

【 0 1 2 5 】

トルク電流指令 $I q C$ と磁束 $\phi 2$ とからすべり周波数演算器 3 5 0 が上記の (6) 式を用いてすべり周波数指令 ωs を算出する。すべり周波数指令 ωs は速度演算器 3 1 5 が出力するモータ回転速度 ωm と加算する。すべり周波数指令 ωs とモータ回転速度 ωm とで一次周波数指令 $\omega 1$ を求める。一次周波数指令 $\omega 1$ を積分器 3 5 5 で積分して固定子位置指令 $\theta m c$ を求める。

10

【 0 1 2 6 】

座標変換器 3 6 0 は固定子位置指令 $\theta m c$ を基に q 軸電圧指令 $V q C$ 、d 軸電圧指令 $V d C$ を座標変換し、三相電圧指令 $V u c$ 、 $V v c$ 、 $V w c$ を求める。三相電圧指令 $V u c$ 、 $V v c$ 、 $V w c$ は PWM 制御器 3 6 5、電力変換器 3 7 0 を介してモータ 3 8 0 に供給され、三相電圧指令 $V u c$ 、 $V v c$ 、 $V w c$ に応じてモータ 3 8 0 が駆動される。

【 0 1 2 7 】

q 軸電流フィードバック $I q F$ と d 軸電流フィードバック $I d F$ は、固定子位置指令 $\theta m c$ を基に、座標変換器 3 2 5 がモータ電流 $I u$ 、 $I v$ を座標変換することによって求める。

20

【 0 1 2 8 】

以上に説明したように、磁束指令演算器 3 2 0 は、モータ回転速度と基底速度との差に比例させて磁束を増加させた値を求め、その値を基に弱め界磁を実施するようにし、さらに、弱め界磁領域でトルク電流指令 $I q c$ に比例させて磁束を低減する。つまり、磁束制御器 3 4 0 は、モータ 3 8 0 の加減速特性を改善するための最適な励磁電流指令 $I d C$ を出力する。

【 0 1 2 9 】

このため、実施形態 3 にかかるモータ制御装置 3 0 0 によれば、磁気飽和のあるモータの力行時における高速負荷回転時のトルク低下を改善して加速時間を短縮し、同時に、モータ回生時における過大なトルクも抑制して、インバータの過電圧やコンバータの過電流を防止し、しかもトルク定数の急変がなく、良好な加速特性と安全な減速特性とを両立させることができる。

30

【 0 1 3 0 】

なお、実施形態 3 に係るモータ制御装置 3 0 0 は、q 軸電圧指令 $V q C$ 、d 軸電圧指令 $V d C$ を出力する系に非干渉制御器を設け、d 軸及び q 軸の干渉を制御するようにしても良い。また、d 軸及び q 軸の電流制御系の内部を三相電流制御系で構成しても良い。さらに、励磁電流指令を基底速度からではなく任意の回転速度から上昇させるようにしても良い。

【 0 1 3 1 】

本発明に係るモータ制御装置では、モータの基底回転速度以上の回転速度で、回転速度に比例させて磁束を増加し、力行/回生判別を設けて、回生時の最大一次電流を制限している。これにより、磁気飽和のあるモータの力行動作時における高速負荷時のトルク低下を改善して加速時間を早める。同時にモータ回生時の過大なトルクも抑制して、インバータの過電圧やコンバータの過電流を防止し、しかもトルク定数の急変がなく、早い加速特性と安全な減速特性を両立できるモータ制御装置を実現することができる。

40

【 符号の説明 】

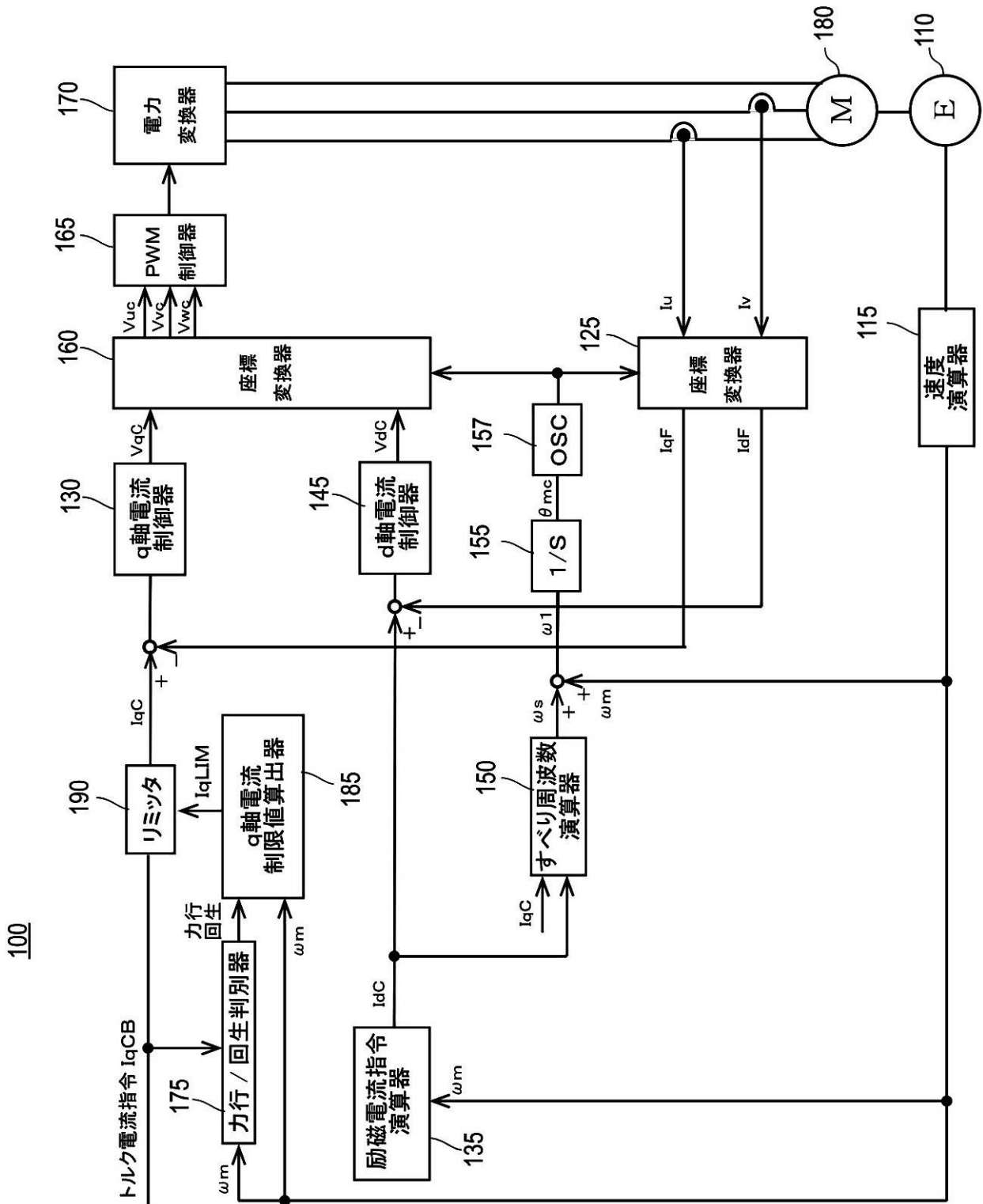
【 0 1 3 2 】

1 0 0、2 0 0、3 0 0 モータ制御装置、
1 0、1 1 0、2 1 0、3 1 0 エンコーダ、

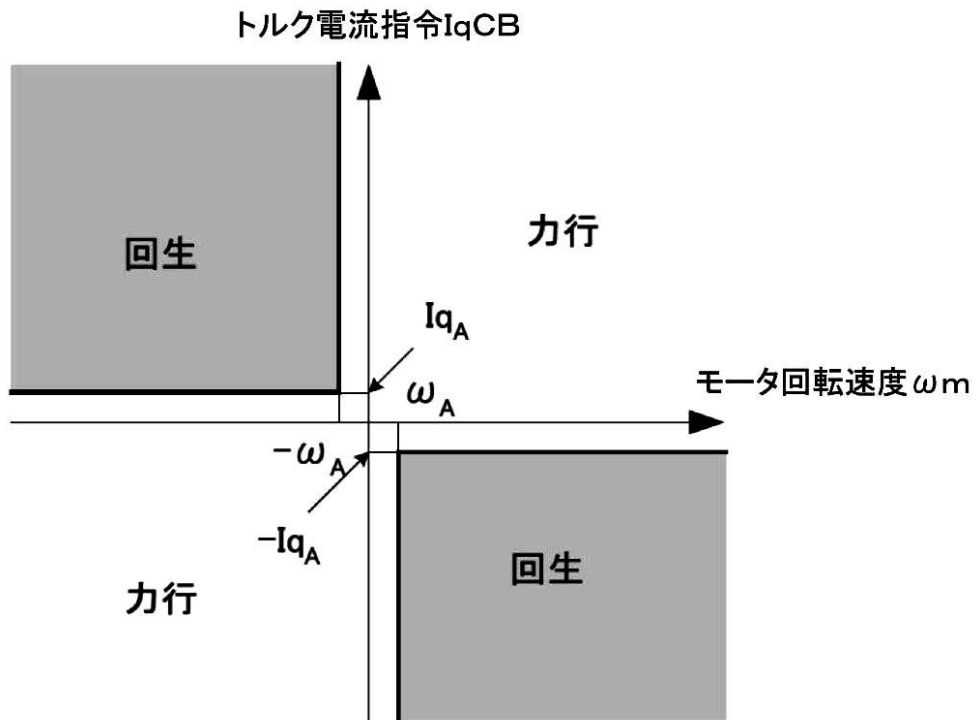
50

1 5、1 1 5、2 1 5、3 1 5	速度演算器、	
2 0	速度制御器、	
2 5、1 2 5、2 2 5、3 2 5	座標変換器、	
1 3 5	励磁電流指令演算器、	
3 0、1 3 0、2 3 0、3 3 0	q 軸電流制御器、	
2 3 5、3 3 5	磁束演算器、	
2 4 0、3 4 0	磁束制御器、	
4 5、1 4 5、2 4 5、3 4 5	d 軸電流制御器、	
5 0、1 5 0、2 5 0、3 5 0	すべり周波数演算器、	
5 5、1 5 5、2 5 5、3 5 5	積分器、	10
6 0、1 6 0、2 6 0、3 6 0	座標変換器、	
6 5、1 6 5、2 6 5、3 6 5	P W M 制御器、	
7 0、1 7 0、2 7 0、3 7 0	電力変換器、	
8 0、1 8 0、2 8 0、3 8 0	モータ、	
1 9 0、2 9 0、3 9 0	リミッタ、	
1 5 7、2 5 7、3 5 7	O S C、	
2 2 0、3 2 0	磁束指令演算器、	
3 8 3	最大一次電流指令算出器、	
3 8 5	トルク制限値演算器、	
3 9 5	q 軸電流演算器。	20

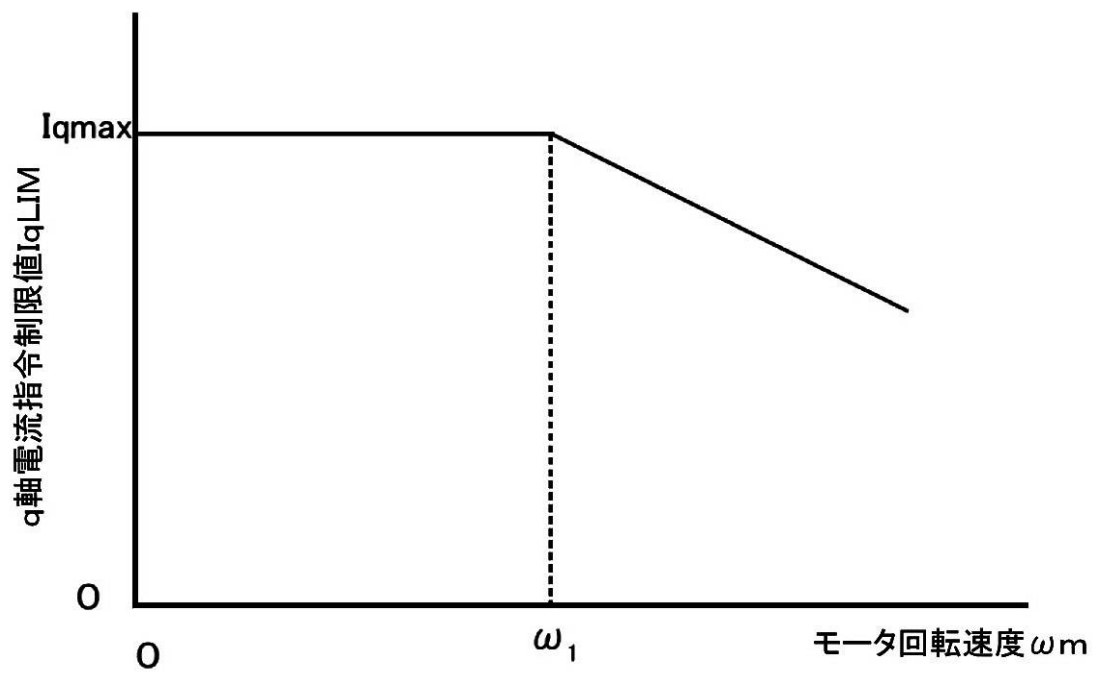
【 図 1 】



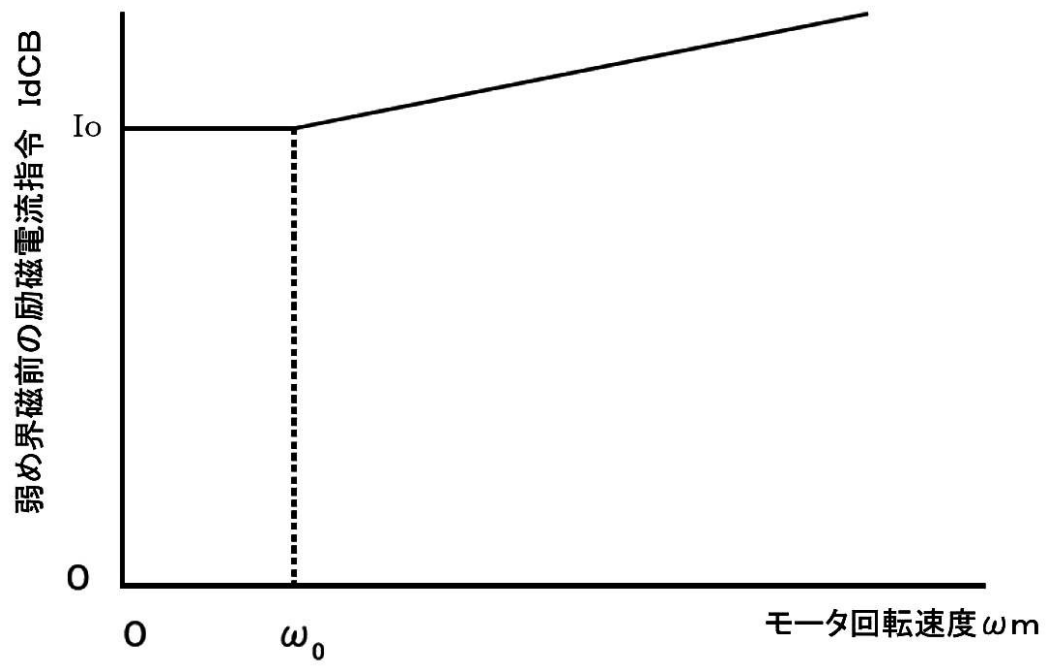
【 図 2 】



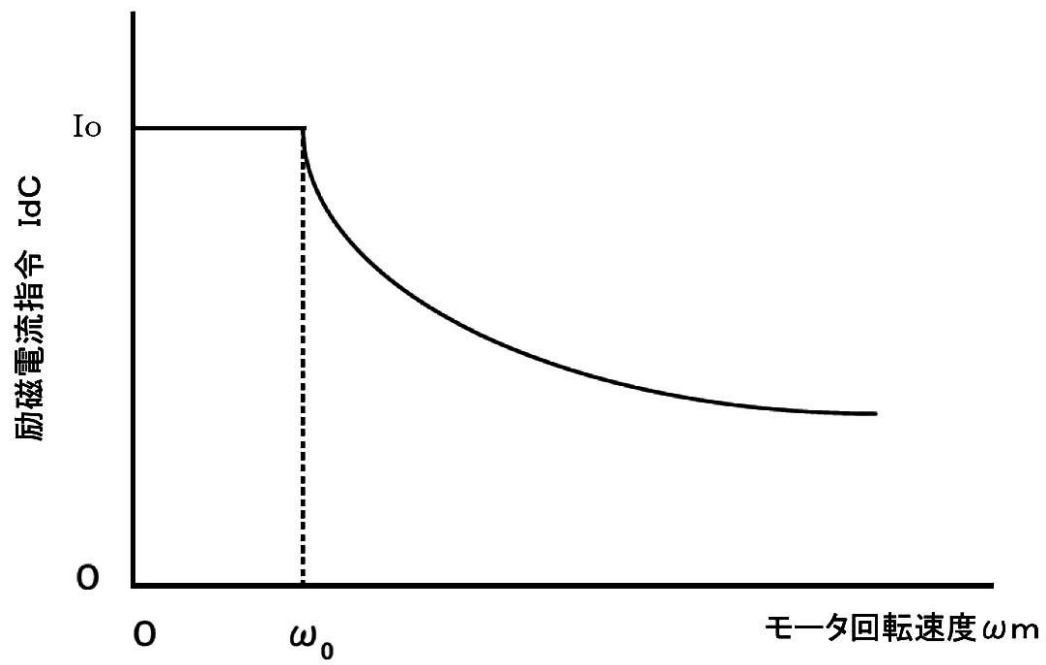
【 図 3 】



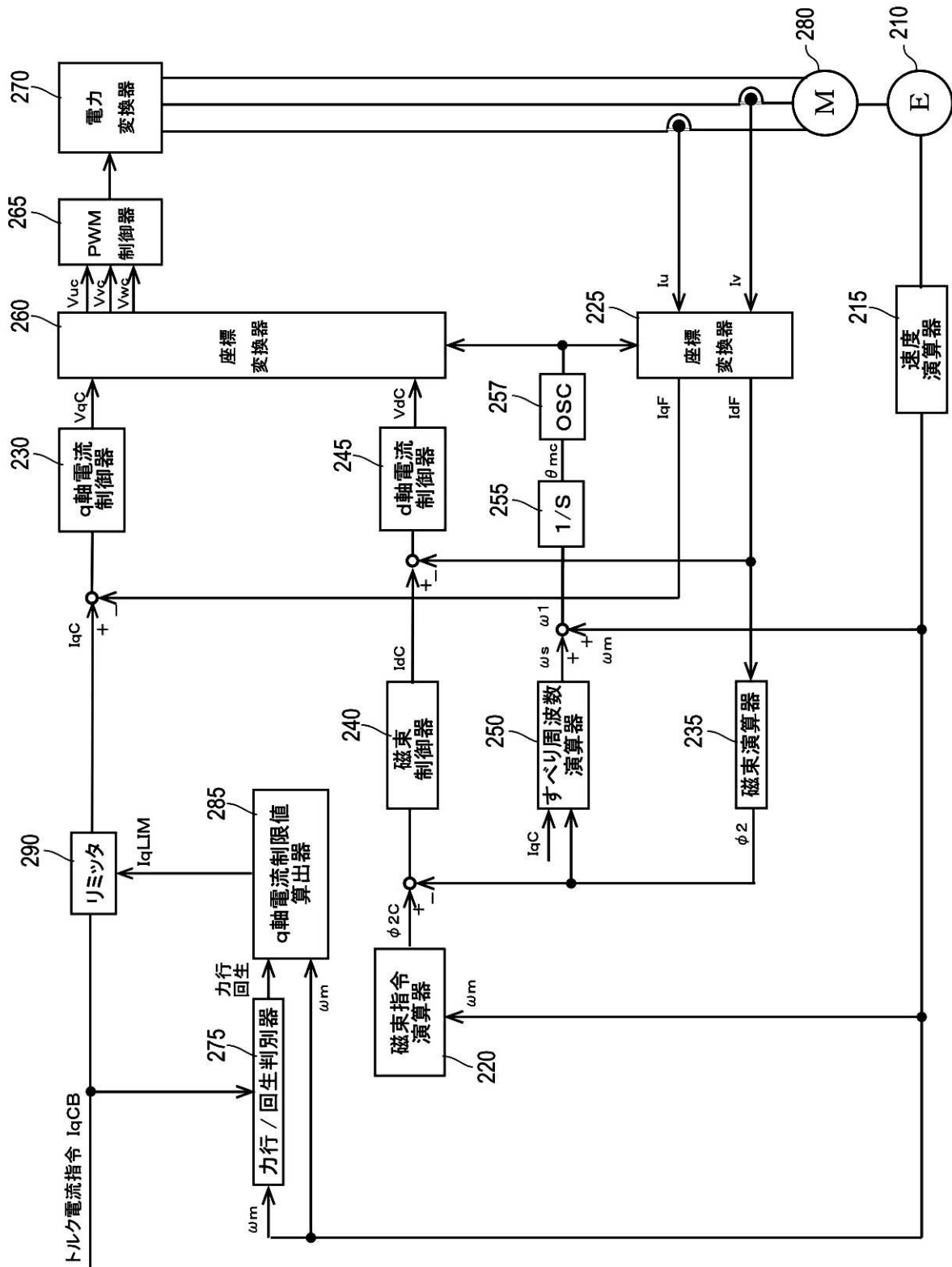
【図 4】



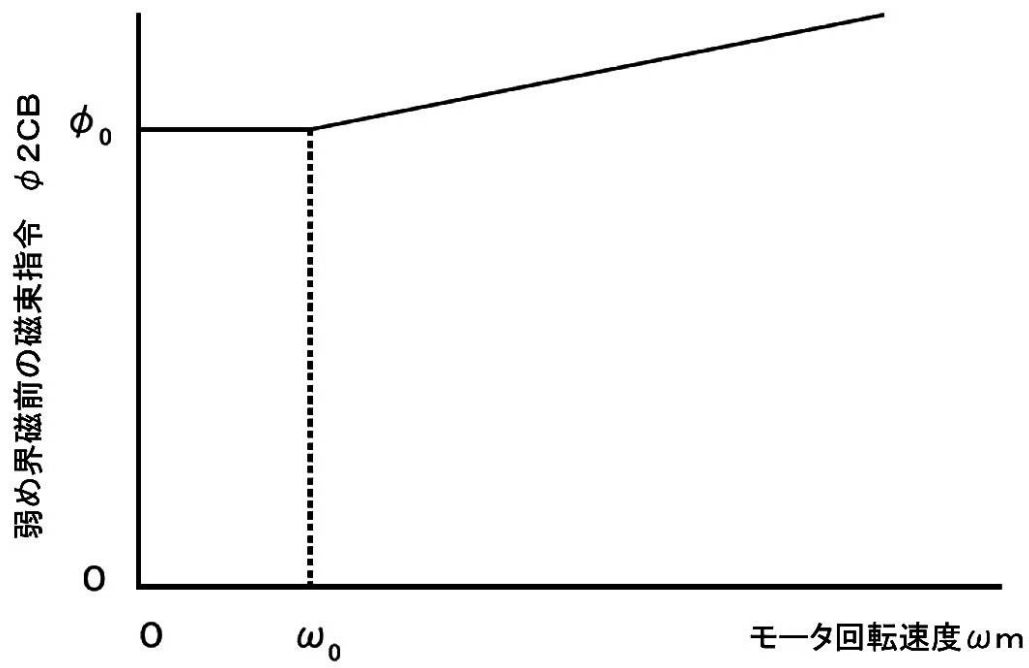
【図 5】



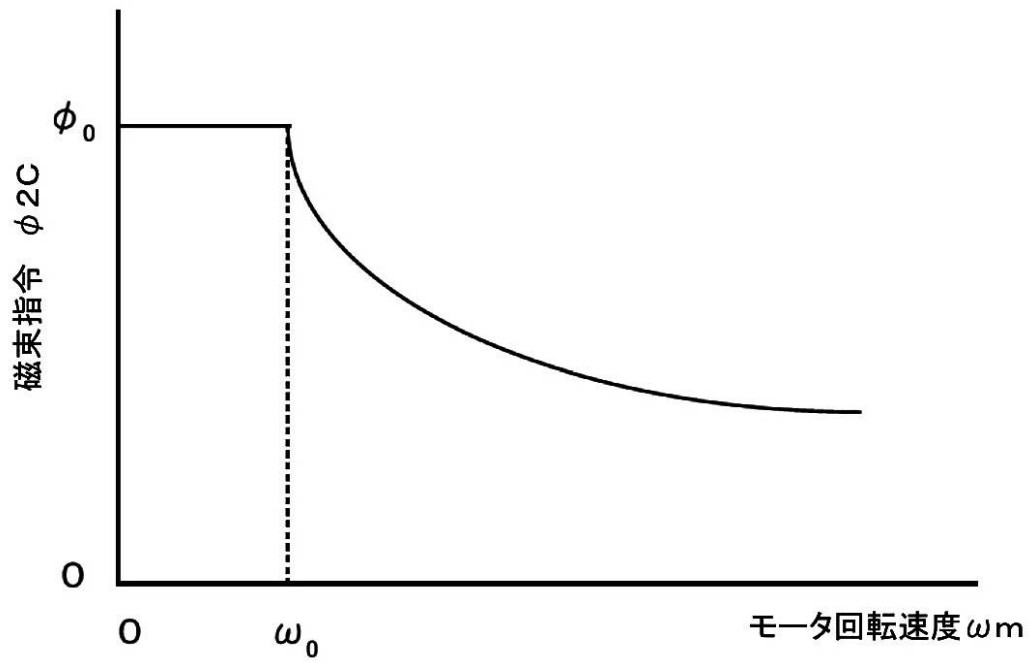
200



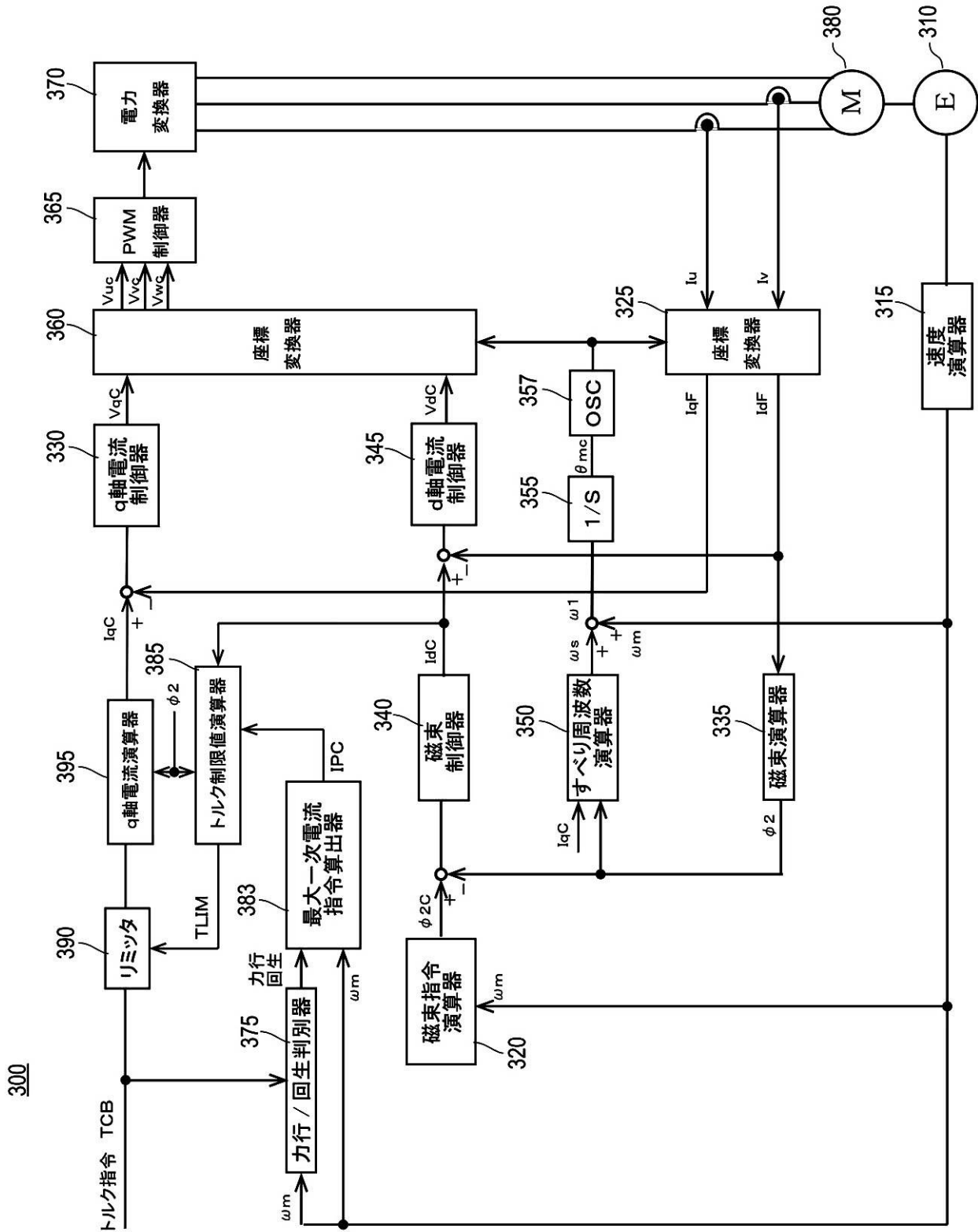
【 図 7 】



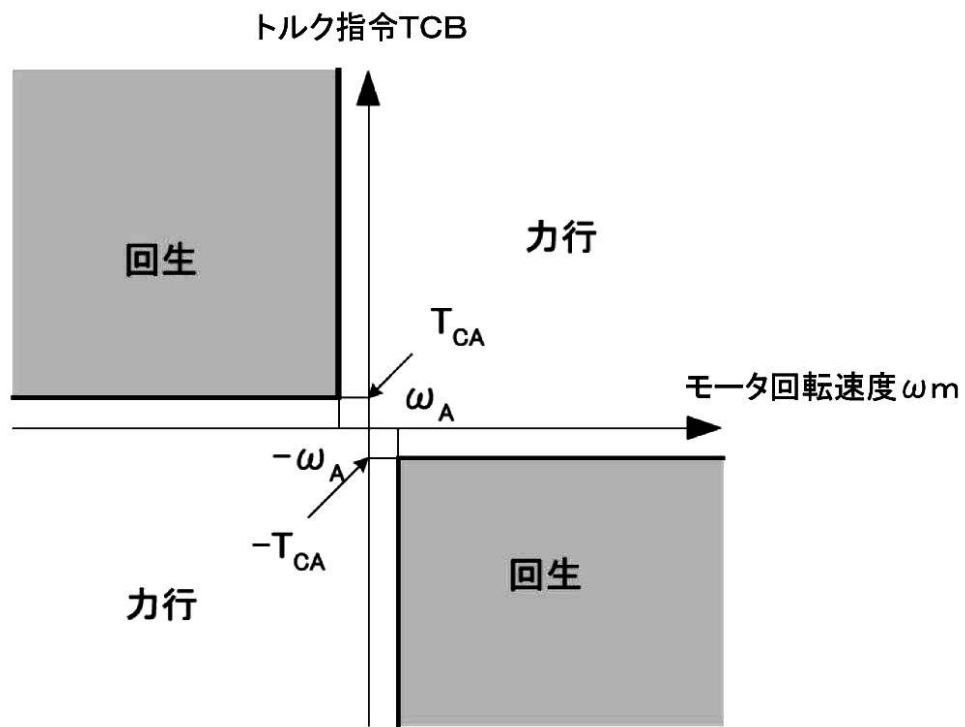
【 図 8 】



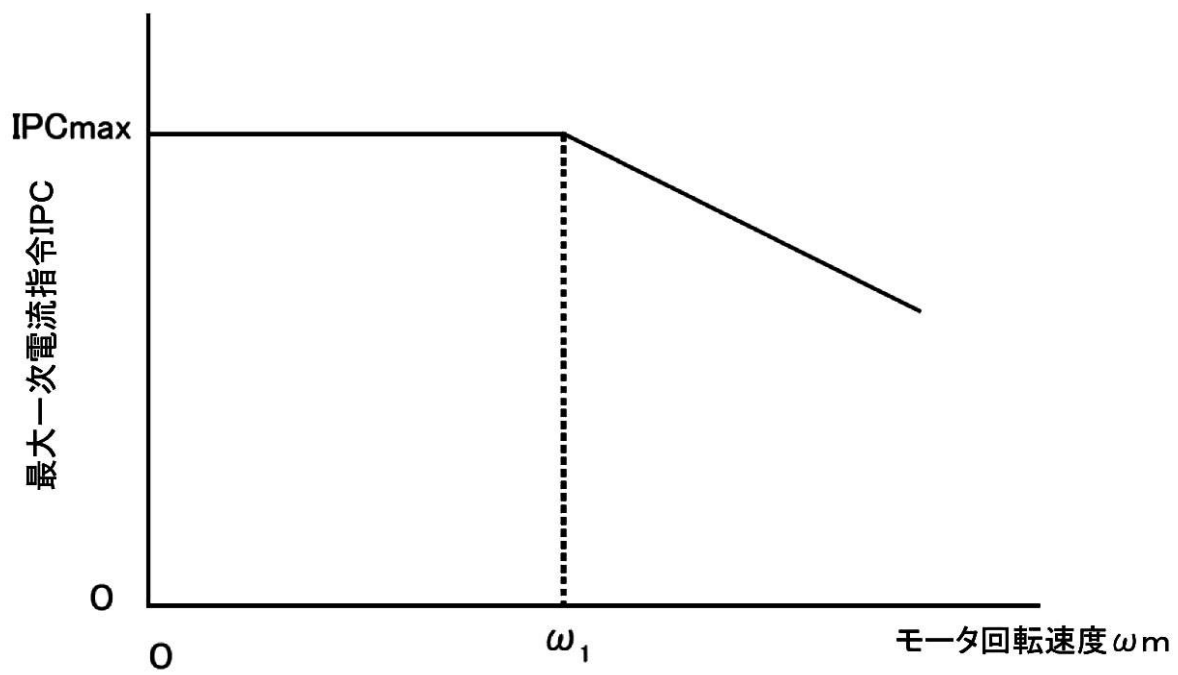
【図 9】



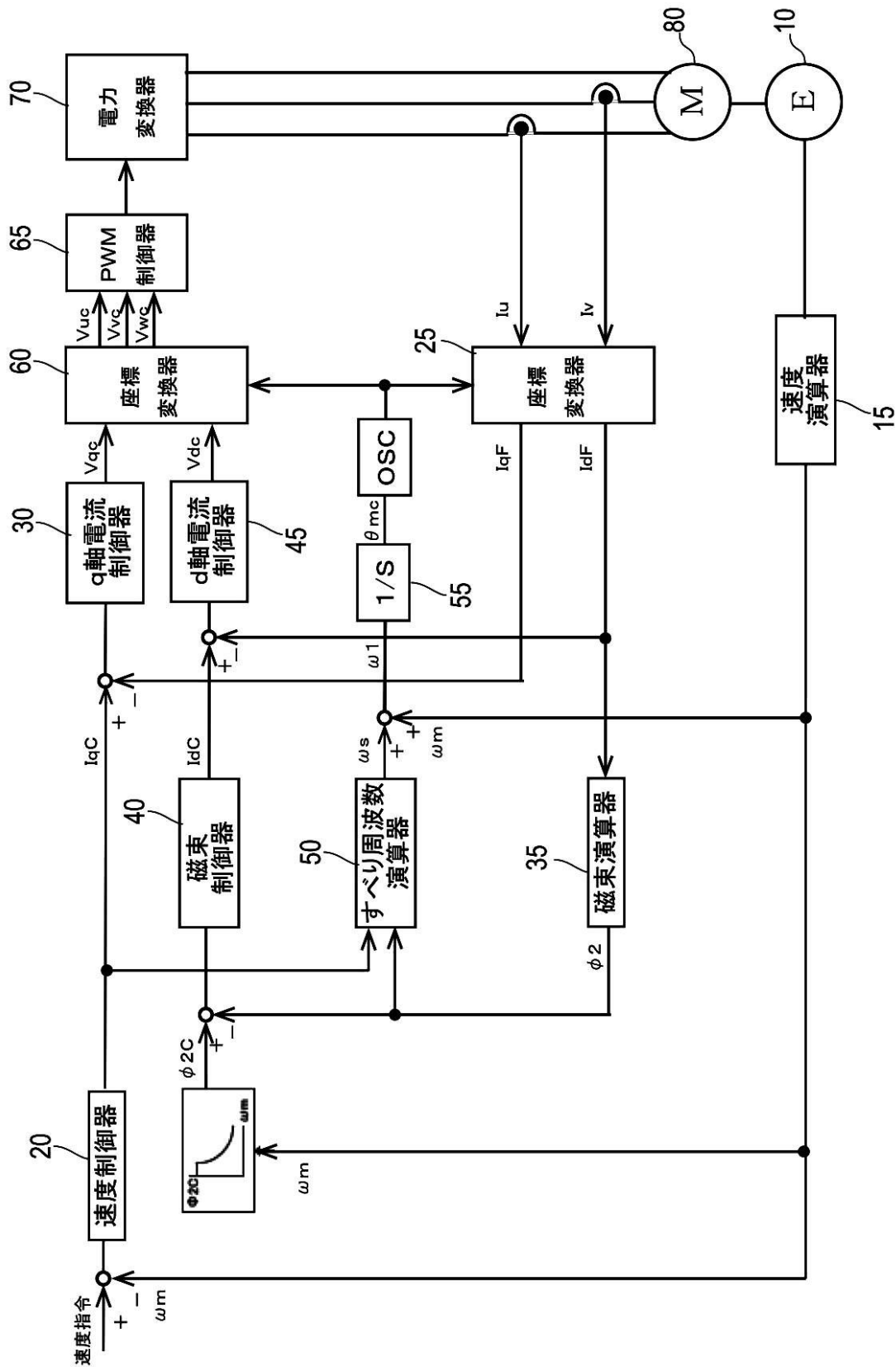
【図 10】



【図 11】



【提出日】平成26年4月16日(2014.4.16)



【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの力行/回生状態を判別する力行/回生判別器と、

前記モータが力行状態であるときには前記トルク電流指令を通過させ回生状態であるときには前記トルク電流指令の大きさを制限して通過させるリミッタと、

前記モータ回転速度を用いてモータの回転状態を認識し当該回転状態に応じた励磁電流指令を演算する励磁電流指令演算器と、

前記リミッタ通過後のトルク電流指令と演算した励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、を有し、

前記モータの力行/回生状態と前記モータ回転速度とを用いて、前記モータが回生状態であるときの前記リミッタの制限値を算出する q 軸電流制限値算出器をさらに有し、

前記リミッタは、前記 q 軸電流制限値算出器が算出する制限値を用いて前記トルク電流指令の大きさを制限することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 2】

前記励磁電流指令演算器は、

前記モータ回転速度が基底速度よりも高速であるときには、前記基底速度との差の大きさに比例させた弱め界磁前の励磁電流指令を求め、さらに、求めた弱め界磁前の励磁電流指令から前記基底速度との差の大きさに反比例させた励磁電流指令を演算することを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

前記モータに供給する電流を座標変換することによって q 軸電流フィードバック及び d 軸電流フィードバックを求める座標変換器をさらに有し、

前記モータ駆動部は、前記トルク電流指令から前記 q 軸電流フィードバックを減算した値及び前記励磁電流指令から前記 d 軸電流フィードバックを減算した値を用いて前記モータを駆動する電圧指令を求めることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のモータ制御装置。

【請求項 4】

前記リミッタ通過後のトルク電流指令と前記励磁電流指令演算器が演算した励磁電流指令とからすべり周波数指令を演算するすべり周波数演算器をさらに有し、

前記座標変換器は、前記すべり周波数演算器が演算したすべり周波数指令を用いて前記モータに供給する電流を座標変換することを特徴とする請求項 3 に記載のモータ制御装置。

【請求項 5】

前記力行/回生判別器は、

前記モータ回転速度が設定したモータ回転速度閾値よりも大きく、かつ、トルク電流指令の大きさが設定したトルク電流閾値よりも小さい場合、または、前記モータ回転速度が設定したモータ回転速度閾値よりも小さく、かつ、トルク電流指令の大きさが設定したトルク電流閾値よりも大きい場合、には、モータが回生状態であると判別し、上記以外の場合には、モータが力行状態であると判別することを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかに記載のモータ制御装置。

【請求項 6】

前記 q 軸電流制限値算出器は、

前記モータが回生状態である時の制限値を下記の式によって算出することを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

制限値 $I_{qLIM} = I_{qmax}$
 ($0 \leq |\omega_m| \leq \omega_1$ のとき)

制限値 $I_{qLIM} = I_{qmax} - K_{LIM} \cdot (|\omega_m| - \omega_1)$
 ($\omega_1 < |\omega_m|$ のとき)

ここで、 ω_1 : q 軸電流の制限開始回転速度

ω_1 は基底速度以上の値で前記モータ減速時のトルク特性に基づき調整する。

K_{LIM} : 高速回転時の q 軸電流指令制限値の低減量を決める係数

【請求項 7】

トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの力行/回生状態を判別する力行/回生判別器と、

前記モータが力行状態であるときには前記トルク電流指令を通過させ回生状態であるときには前記トルク電流指令の大きさを制限して通過させるリミッタと、

前記モータ回転速度を用いて前記モータの磁束指令を演算する磁束指令演算器と、

前記モータに供給する電流から求めた磁束と前記磁束指令演算器が演算した磁束指令とから励磁電流指令を求める磁束制御器と、

前記リミッタ通過後のトルク電流指令と求めた励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、を有し、

前記モータの力行/回生状態と前記モータ回転速度とを用いて、前記モータが回生状態であるときの前記リミッタの制限値を算出する q 軸電流制限値算出器をさらに有し、

前記リミッタは、前記 q 軸電流制限値算出器が算出する制限値を用いて前記トルク電流指令の大きさを制限することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 8】

前記磁束指令演算器は、

前記モータ回転速度が基底速度よりも高速であるときには、前記基底速度との差の大きさに比例させた弱め界磁前の磁束指令を求め、さらに、求めた弱め界磁前の磁束指令から前記基底速度との差の大きさに反比例させた磁束指令を演算することを特徴とする請求項 7 に記載のモータ制御装置。

【請求項 9】

前記モータに供給する電流から求めた磁束は、前記モータに供給する電流を座標変換することによって求めた d 軸電流フィードバックから磁束演算器が求めることを特徴とする請求項 7 または 8 に記載のモータ制御装置。

【請求項 10】

トルク指令とモータ回転速度とを用いてモータの力行/回生状態を判別する力行/回生判別器と、

前記モータが力行状態であるときには前記トルク指令を通過させ回生状態であるときには前記トルク指令の大きさを制限して通過させるリミッタと、

前記リミッタを通過したトルク指令を用いてトルク電流指令を演算する q 軸電流演算器と、

前記モータ回転速度を用いて前記モータの磁束指令を演算する磁束指令演算器と、

前記モータに供給する電流から求めた磁束と前記磁束指令演算器が演算した磁束指令とから励磁電流指令を求める磁束制御器と、

演算したトルク電流指令と求めた励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、を有し、

前記モータの力行/回生状態と前記モータ回転速度とを用いて、前記モータが回生状態であるときの最大一次電流指令を算出する最大一次電流指令算出器と、

前記最大一次電流指令算出器が算出する最大一次電流指令、前記磁束制御器が求める励磁電流指令及び前記磁束演算器が求める磁束を用いて、前記モータが回生状態であるときの前記リミッタの制限値を演算するトルク制限値演算器と、をさらに有し、

前記リミッタは、前記トルク制限値演算器が演算する制限値を用いて前記トルク指令の大きさを制限することを特徴とするモータ制御装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0016

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0016】

上記目的を達成するための、本発明にかかるモータ制御装置は、力行/回生判別器、リミッタ、励磁電流指令演算器、モータ駆動部及び q 軸電流制限値算出器を有する。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0017】

力行/回生判別器は、トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの力行/回生状態を判別する。リミッタは、モータが力行状態であるときにはトルク電流指令を通過させ回生状態であるときにはトルク電流指令の大きさを制限して通過させる。励磁電流指令演算器は、モータ回転速度を用いてモータの回転状態を認識し当該回転状態に応じた励磁電流指令を演算する。モータ駆動部は、リミッタ通過後のトルク電流指令と演算した励磁電流指令とを用いてモータを駆動する。q 軸電流制限値算出器は、モータの力行/回生状態とモータ回転速度とを用いて、モータが回生状態であるときのリミッタの制限値を算出する。リミッタは、q 軸電流制限値算出器が算出する制限値を用いてトルク電流指令の大きさを制限する。